

Method and device for detecting the contact of hands on a steering wheel

Patent number: DE10121693

Publication date: 2002-11-14

Inventor: BRAEUCHLE GOETZ (DE); HEINEBRODT MARTIN (DE); BOECKER JUERGEN (DE)

Applicant: BOSCH GMBH ROBERT (DE)

Classification:

- **International:** G08B21/02; B60K28/06; B60L3/02

- **european:** B62D1/06; B62D1/06B; B62D51/00B2; G08B21/06

Application number: DE20011021693 20010504

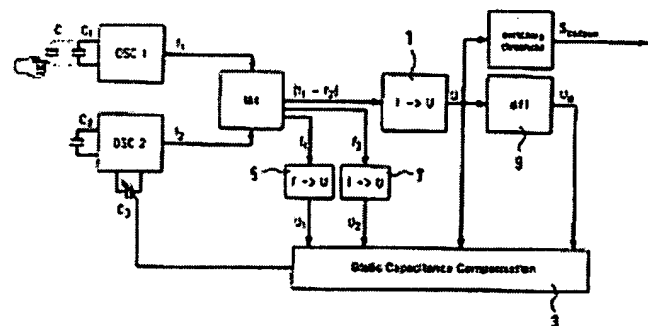
Priority number(s): DE20011021693 20010504

Also published as:

US2002170900 (A1)
JP2002340712 (A)
FR2824397 (A1)

Abstract not available for DE10121693
Abstract of corresponding document: **US2002170900**

A method and a device are described for detecting the contact between hands and a steering wheel, which assures that the driver of a vehicle has his hands on the steering wheel.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

THIS PAGE BLANK (USPTO)



[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Detektieren des Kontakts von Händen mit einem Lenkrad.

[0002] Im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung wird der Begriff "Lenkrad" synonym zu jeder Art von Lenkhandhabung verwandt. Somit fallen auch Steuerknüppel, wie sie bspw. aus Flugzeugen bekannt sind, unter den Begriff eines Lenkrads im Sinne der Erfindung.

[0003] Mit zunehmender Automatisierung der Spurführung eines Fahrzeugs wird es notwendig festzustellen, ob der Fahrer des Fahrzeugs seinen Aufgaben nachkommt oder nicht. So ist es bspw. aus dem Eisenbahnwesen seit langem bekannt, durch einen sog. "Totmann"-Schalter in regelmäßigen Abständen zu prüfen, ob der Zugführer wach ist oder nicht. Auch aus dem Kraftfahrzeugwesen sind Vorrichtungen und Verfahren bekannt, die Reaktionsgeschwindigkeit und damit auch die Wachheit des Fahrers regelmäßig zu überprüfen. Aus der DE 195 18 914 A1 ist eine Einrichtung zur Aufmerksamkeits- und Reaktionsprüfung eines Autofahrers bekannt, welche ein Signal erzeugt, das durch einen Fingerdruck des Fahrers am Lenkrad quittiert werden muss. Die Dauer vom Auftreten des Signals bis zu dessen Quittierung wird als Maß für die Reaktionsfähigkeit und Aufmerksamkeit des Fahrers verwertet.

[0004] Bei den zumindest in zukünftigen Fahrzeugen eingesetzten Fahrerassistenzsystemen sind z. B. eine Spurführungsunterstützung oder eine Seitenwindkompensation vorgesehen. Diese Funktionen können den Fahrer möglicherweise dazu verleiten, während der Fahrt die Hände vom Lenkrad zu nehmen. Für diese Situation sind die Fahrerassistenzsysteme nicht vorgesehen. Vielmehr soll der Fahrer stets die Kontrolle über das Fahrzeug haben und nur zusätzlich durch die Fahrerassistenzsysteme unterstützt werden. Um diese Aufgabenteilung zwischen Fahrer und Fahrerassistenzsystem sicherzustellen, ist es notwendig, den Kontakt der Hände des Fahrers mit dem Lenkrad des Fahrzeugs kontinuierlich zu überwachen.

[0005] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Detektieren des Kontakts von Händen mit einem Lenkrad bereitzustellen, welche einfach aufgebaut ist und über die gesamte Lebensdauer des Fahrzeugs zuverlässig arbeitet.

[0006] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren zur Detektion des Kontakts zwischen Händen und einem Lenkrad, bei welchem ein erstes Signal mit einer ersten Frequenz erzeugt wird, wobei die erste Frequenz davon abhängt, ob die Hände des Fahrzeugführers Kontakt zum Lenkrad haben oder nicht, ein zweites Signal mit einer zweiten Frequenz erzeugt wird und ein Ausgangssignal in Abhängigkeit der Frequenzen des ersten und des zweiten Signals erzeugt wird.

Vorteile der Erfindung

[0007] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren bewirkt die Hände des Fahrzeugführers eine Frequenzänderung eines ersten Signals, wenn sie Kontakt zum Lenkrad haben. Zur Erhöhung der Detektionsrate wird die Frequenz des ersten Signals mit einer Frequenz eines zweiten Signals in geeigneter Weise in Beziehung gesetzt und in Abhängigkeit der Frequenzen des ersten und des zweiten Signals ein Ausgangssignal erzeugt. Das Ausgangssignal gibt Aufschluss darüber, ob die Hände des Fahrzeugführers Kontakt zum Lenkrad haben oder nicht. Dadurch, dass das erfindungsge-

mäße Verfahren ohne mechanische Sensoren auskommt, ist es verschleißfrei. Außerdem wird es durch nachträgliche Modifikationen des Lenkrads, bspw. durch einen Lederüberzug des Lenkrads nicht beeinträchtigt.

[0008] Weitere Varianten der Erfindung sehen vor, dass das Ausgangssignal in Abhängigkeit der Differenz bzw. des Betrags der Differenz der ersten und der zweiten Frequenz erzeugt wird, so dass auf einfache Weise eine Änderung der Frequenz, die durch den Kontakt der Hände mit dem Lenkrad ausgelöst wird, detektierbar ist.

[0009] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens sehen vor, dass in einem Frequenz-/Spannungs-Umsetzer eine Ausgangsspannung in Abhängigkeit der ersten und zweiten Frequenz erzeugt wird, und/oder dass der Kontakt zwischen Händen und Lenkrad detektiert wird, wenn das Ausgangssignal größer als ein Schwellwert ist. Durch diese Maßnahmen kann die Detektionsrate des erfindungsgemäßen Verfahrens weiter verbessert werden.

[0010] Zur Kompensation von Änderungen der ersten Frequenz aufgrund äußerer Störgrößen kann eine Kompensation vorgesehen sein. Wenn das erfindungsgemäße Verfahren in einen ersten Schwingkreis mit einer Kapazität eine Frequenz einspeist und die Kapazität des Schwingkreises durch den Kontakt zwischen Händen und Lenkrad verändert wird, dann werden Änderungen der ersten Frequenz aufgrund äußerer Störgrößen in einer weiteren erfindungsgemäßen Weiterbildung des Verfahrens kompensiert.

[0011] Die eingangs genannte Aufgabe wird auch gelöst durch eine Vorrichtung zur Detektion des Kontakts zwischen Händen und einem Lenkrad mit Mitteln zum Erzeugen eines ersten Signals mit einer ersten Frequenz, wobei die erste Frequenz davon abhängt, ob die Hände Kontakt zum Lenkrad haben oder nicht, mit Mitteln zum Erzeugen eines zweiten Signals mit einer zweiten Frequenz und mit Mitteln zum Erzeugen eines Ausgangssignals in Abhängigkeit der ersten und zweiten Frequenz. Diese Vorrichtung setzt das erfindungsgemäße Verfahren um, so dass sie auch die dem Verfahren innewohnenden Vorteile aufweist.

[0012] In weiterer Ausgestaltung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass die Mittel zum Erzeugen eines ersten Signals mit einer ersten Frequenz einen ersten Oszillator und eine parallel dazu geschaltete erste Kapazität umfassen und dass die erste Kapazität am Lenkrad angeordnet ist. Insbesondere kann eine Lenkradheizung auch Teil der ersten Kapazität sein. Durch die Verwendung eines ersten Oszillators und einer ersten Kapazität kann auf einfache Weise detektiert werden, ob sich die Hände des Fahrers am Lenkrad befinden oder nicht. Wenn als erste Kapazität die bei Fahrzeugen der Luxusklasse ohnehin vorhandene Lenkradheizung verwendet wird, kann die erfindungsgemäße Vorrichtung auf einfachste Weise und nahezu ohne zusätzlichen Aufwand realisiert werden.

[0013] Bei weiteren Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen Vorrichtung wird die Differenz der ersten und der zweiten Frequenz in einem Mischer gebildet und/oder anschließend in einem Frequenz-Spannungs-Umsetzer in eine dem Betrag der Differenz proportionale Ausgangsspannung umgesetzt. Wenn die Ausgangsspannung größer als eine Schwellenwert ist, wird der Kontakt zwischen Händen und Lenkrad detektiert.

[0014] Die bei weiteren Ausgestaltungen der Erfindung vorgesehene Kompensation äußerer Störgrößen kann durch Einstellen der zweiten Frequenz erfolgen. Wenn eine vollständige Kompensation stattgefunden hat, sind die erste Frequenz und die zweite Frequenz gleich, wenn die Hände des Fahrers sich nicht am Lenkrad befinden.

[0015] Weitere Vorteile und vorteilhafte Ausgestaltungen

sind den nachfolgenden Zeichnungen, deren Beschreibung und den Patentansprüchen entnehmbar.

Zeichnung

[0016] Es zeigen:

[0017] Fig. 1 ein Blockschaltbild eines Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Vorrichtung und

[0018] Fig. 2 ein Signalschema der erfindungsgemäßen Vorrichtung.

Beschreibung des Ausführungsbeispiels

[0019] In Fig. 1 ist ein Blockschaltbild eines Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zum Detektieren des Kontakts zwischen Händen und Lenkrad dargestellt. In einem ersten Oszillator OSC 1, welcher eine erste Kapazität C_1 umfasst, wird ein erstes Signal mit einer Frequenz f_1 erzeugt. Die erste Kapazität C_1 ist am nicht dargestellten Lenkrad eines ebenfalls nicht dargestellten Fahrzeugs angeordnet. Sie kann bspw. Teil einer ohnehin vorhandenen Lenkradheizung sein.

[0020] In einem zweiten Oszillator OSC 2 mit einer zweiten Kapazität C_2 und einer einstellbaren dritten Kapazität C' wird ein zweites Signal mit einer zweiten Frequenz f_2 erzeugt. Wenn sich die Hände des Fahrers nicht am Lenkrad befinden, sind erste Frequenz f_1 und zweite Frequenz f_2 gleich. In einem Mischer MIX wird der Betrag der Differenz der ersten und der zweiten Frequenz f_1 und f_2 gebildet. Der Betrag der Differenz wird in einem Frequenz-Spannungs-Umsetzer 1 in eine Ausgangsspannung U umgewandelt.

[0021] Wenn die Ausgangsspannung U größer als eine erste Schaltschwelle S_1 ist, wird ein entsprechendes Ausgangssignal S_{Ausgang} generiert. Dieses Ausgangssignal wird an ein nicht dargestelltes Steuergerät eines Fahrerassistenzsystems übermittelt, welche in Abhängigkeit des Ausgangssignals S_{Ausgang} bestimmte Funktionen/aktionen aktiviert oder deaktiviert.

[0022] Es hat sich gezeigt, dass eine Kompensation der Änderungen von erster Frequenz f_1 und zweiter Frequenz f_2 aufgrund äußerer Störgrößen in den meisten Fällen verzichtet werden kann, da die Unterschiede in der Dritt der ersten Kapazität C_1 und der zweiten Kapazität C_2 im Normalfall nahezu identisch sind und die Differenz von erster Frequenz f_1 und zweiter Frequenz f_2 ausgewertet wird. Es empfiehlt sich deshalb den ersten Oszillator OSC 1 und den zweiten Oszillator OSC 2 an einem Ort im Fahrzeug oder an zwei Orten, die den gleichen Umgebungseinflüssen ausgesetzt sind, zu verbauen. Weiterhin ist es vorteilhaft die zweite Kapazität C_2 an einem gut durchlüfteten Platz am Lenkrad und nicht auf einer Platine des zweiten Oszillators OSC 2 anzubringen.

[0023] Falls trotz dieser Maßnahmen dennoch eine Kompensation von äußeren Störgrößen erforderlich ist, kann eine statische Kapazitätskompensation 3 vorgesehen werden. Dies kann bspw. erforderlich werden, wenn die Luftfeuchtigkeit im Fahrzeuginnenraum extremen Änderungen unterworfen ist und damit die erste Frequenz f_1 ändert. Die statische Kapazitätskompensation steuert die dritte Kapazität C' des zweiten Oszillators OSC 2 so an, dass die erste Frequenz f_1 und die zweite Frequenz f_2 gleich sind. Diese Angleichung erfolgt nur bei langsamen Änderungen der ersten Frequenz f_1 , da der Kontakt zwischen Händen und Lenkrad innerhalb von Bruchteilen einer Sekunde hergestellt wird. Die statische Kapazitätskompensation 3 erhält vom Mixer MIX über Frequenzspannungsumwandler 5 und 7 Spannungen U_1 und U_2 , welche von der ersten Frequenz f_1 und der zweiten Frequenz f_2 abhängen.

[0024] Um die Geschwindigkeit von Änderungen der ersten Frequenz f_1 oder der zweiten Frequenz f_2 erkennen zu können, sind Mittel zum Erkennen der Änderungsgeschwindigkeit 9 vorgesehen. Diese Mittel können, wie bei dem

5 Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1, als Differenzierer 9 ausgebildet sein, welcher die erste zeitliche Ableitung der Spannung U , nachfolgend als U_d bezeichnet, bildet. Wenn die Spannung U_d kleiner als ein dritter Schwellwert S_3 ist, handelt es sich um eine langsame Frequenzänderung, die

10 kompensiert werden muss.

[0025] In die statische Kapazitätskompensation 3 wird auch die Ausgangsspannung U eingebracht. Durch die Redundanz der in der Ausgangsspannung U sowie der Spannungen U_1 und U_2 enthaltenen Informationen kann die Funktionsfähigkeit der erfindungsgemäßen Vorrichtung zumindest teilweise überprüft werden.

[0026] Anhand der Fig. 2 werden drei typische Situationen beschrieben und deren Auswirkungen auf das Ausgangssignal S_{Ausgang} erläutert.

Fall 1

Der Fahrer berührt das Lenkrad

25 [0027] In dem Zeitintervall t_1 bis t_3 nähern sich die Hände des Fahrers dem Lenkrad und umfassen dieses schließlich. Dadurch wird die erste Kapazität C_1 beeinflusst und in Folge dessen ändert sich die erste Frequenz f_1 . Die Änderung der ersten Kapazität C_1 durch die am Lenkrad befindlichen

30 Hände sind in Fig. 1 durch die stilisierte Hand, die Kapazität C' und die strichpunktierten Leitungen von der Kapazität C' zur ersten Kapazität C_1 dargestellt.

[0028] Da in diesem Fall f_1 von f_2 verschieden ist, ergibt sich hinter dem Frequenz-Dpannungs-Wandler 1 eine Spannung U , die von 0 verschieden ist und während der Annäherung der Hände an das Lenkrad kontinuierlich ansteigt. Sobald der erste Schwellwert S_1 zum Zeitpunkt t_2 überschritten wird, wird der Kontakt zwischen Händen und Lenkrad detektiert und das Ausgangssignal S_{Ausgang} ist von 0 verschieden. In dem Zeitintervall t_3 bis t_4 hat der Fahrer die Hände am Lenkrad. In dem Zeitraum zwischen t_4 und t_6 löst der Fahrer die Hände vom Lenkrad, was sich in einer abnehmenden Spannung U niederschlägt. Sobald die Spannung U kleiner als der erste Schwellwert S_1 ist, geht das Ausgangssignal S_{Ausgang} (zur Zeit t_5) auf 0 zurück. Es wird detektiert, dass der Fahrer die Hände nicht am Lenkrad hat.

Fall 2

35 Kapazitätsveränderung durch Einsteigen des Fahrers in das Fahrzeug

[0029] Diese Situation ist in dem Zeitabschnitt zwischen t_7 und t_{10} dargestellt. Die Kapazität und damit auch die Ausgangsspannung U ändert sich zwischen t_7 und t_8 durch das Einsteigen des Fahrers und zwischen t_9 und t_{10} durch das Aussteigen des Fahrers nicht so stark, dass die Spannung U den ersten Schwellwert S_1 überschreitet. Deshalb bleibt das Ausgangssignal S_{Ausgang} auch im Zeitraum zwischen t_7 und t_{10} bei 0. Die Änderungsrate der Spannung U in den Zeiträumen t_1 bis t_3 , t_4 bis t_6 , t_7 bis t_8 und t_9 bis t_{10} gleich groß, so dass die Spannung U_d , die im Differenzierer 9 aus der Spannung U (t) gebildet wird, in den genannten Zeiträumen jeweils gleich groß ist. In den verbleibenden Zeiträumen ändert sich die Spannung U nicht, so dass U_d gleich 0 ist.

langsame Kapazitätsänderung durch eine äußere Störung

[0030] Eine solche Kapazitätsänderung, bspw. durch Regen verursacht, findet in dem Zeitintervall t_{11} bis t_{12} statt. Da sich diese Kapazitätsänderung über einen längeren Zeitraum erstreckt und außerdem groß genug ist, um den zweiten Schwellwert S_2 der Ausgangsspannung U und den dritten Schwellwert S_3 der Ausgangsspannung U_d des Differenzierers 9 zu überschreiten, wird diese Kapazitätsänderung kompensiert. Diese Kompensation findet im Zeitintervall t_{12} bis t_{13} statt, mit dem Ergebnis, dass die Ausgangsspannung U nach t_{13} wieder auf 0 ist, weil die erste Frequenz f_1 und die zweite Frequenz f_2 wieder gleich groß sind.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Detektion des Kontakts zwischen Händen und einem Lenkrad, **gekennzeichnet durch** folgende Verfahrensschritte:
 - Erzeugen eines ersten Signals mit einer ersten Frequenz (f_1), wobei die erste Frequenz (f_1) davon abhängt, ob die Hände des Fahrzeugführers Kontakt zum Lenkrad haben oder nicht,
 - Erzeugen eines zweiten Signals mit einer zweiten Frequenz (f_2),
 - Erzeugen eines Ausgangssignals (S_{Ausgang}) in Abhängigkeit der Frequenzen (f_1 , f_2) des ersten und des zweiten Signals.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Ausgangssignal (S_{Ausgang}) in Abhängigkeit der Differenz ($f_1 - f_2$) der ersten und der zweiten Frequenz erzeugt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Ausgangssignal (S_{Ausgang}) in Abhängigkeit des Betrags der Differenz ($|f_1 - f_2|$) der ersten und der zweiten Frequenz erzeugt wird.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass in einem Frequenz-Spannungs-Umsetzer (1) in Abhängigkeit der ersten und der zweiten Frequenzen (f_1 , f_2) eine Ausgangsspannung (U) erzeugt wird.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Kontakt zwischen Händen und Lenkrad detektiert wird, wenn das Ausgangssignal (S_{Ausgang}) größer als ein erste Schwellwert (S_1) ist.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Kompensation (3) von Änderungen der ersten Frequenz (f_1) aufgrund äußerer Störgrößen vorhanden ist.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass in einen ersten Schwingkreis mit einer Kapazität eine Frequenz eingespeist wird, dass die Kapazität des Schwingkreises durch den Kontakt zwischen Händen und Lenkrad verändert wird, und dass Änderungen der ersten Frequenz (f_1) aufgrund äußerer Störgrößen kompensiert werden.
8. Vorrichtung zur Detektion des Kontakts zwischen Händen und einem Lenkrad mit Mitteln zum Erzeugen eines ersten Signals mit einer ersten Frequenz (f_1), wobei die erste Frequenz (f_1) davon abhängt, ob die Hände Kontakt zum Lenkrad haben oder nicht, mit Mitteln zum Erzeugen eines zweiten Signals mit einer zweiten Frequenz (f_2) und mit Mitteln zum Erzeugen eines Ausgangssignals (S_{Ausgang}) in Abhängigkeit der ersten und zweiten Frequenz (f_1 , f_2).

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittel zum Erzeugen eines ersten Signals mit einer ersten Frequenz (f_1) einen ersten Oszillator (OSC 1) und eine parallel dazu geschaltete erste Kapazität (C_1) umfassen, und dass die erste Kapazität (C_1) am Lenkrad angeordnet ist.
10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass eine Lenkradheizung Teil der ersten Kapazität (C_1) ist.
11. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Lenkradheizung zur Kapazitätsbestimmung ausschaltbar ist.
12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittel zum Erzeugen des zweiten Signals mit einer zweiten Frequenz (f_2) einen zweiten Oszillator (OSC 2) mit einer zweiten Kapazität (C_2) umfassen.
13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittel zum Erzeugen des ersten Signals und die Mittel zum Erzeugen des zweiten Signals den gleichen äußeren Bedingungen ausgesetzt sind.
14. Vorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Kapazität C_1 und die zweite Kapazität C_2 in unmittelbarer Nähe zueinander angeordnet sind.
15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittel zum Erzeugen des zweiten Signals mit einer zweiten Frequenz (f_2) eine parallel zum zweiten Oszillator (OSC 2) geschaltete zweite Kapazität (C_2) umfassen.
16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Differenz der ersten und zweiten Frequenz (f_1 , f_2) in einem Mischer (MIX) gebildet wird.
17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Differenz der Frequenzen (f_1) und (f_2) in einem Frequenz-Spannungs-Umsetzer (1) in eine dem Betrag der Differenz ($|f_1 - f_2|$) proportionale Ausgangsspannung (U) umgesetzt wird.
18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass der Kontakt zwischen Händen und Lenkrad detektiert wird, wenn das Ausgangssignal (U) größer als die erste Schaltschwelle (S_1) ist.
19. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass eine Kompensation (3) der zweiten Frequenz (f_2) aufgrund äußerer Störgrößen vorgesehen ist.
20. Vorrichtung nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass die Kompensation der zweiten Frequenz (f_2) aufgrund äußerer Störgrößen durch Einstellen einer parallel zum zweiten Oszillator (OSC 2) geschalteten dritten Kapazität (C_3) erfolgt.
21. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Frequenz f_1 und die zweite Frequenz f_2 gleich sind, wenn die Hände keinen Kontakt zum Lenkrad haben.
22. Computerprogramm, dadurch gekennzeichnet, dass es zur Durchführung eines der vorhergehenden Verfahren geeignet ist.
23. Computerprogramm nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, dass es auf einem Speichermedium abgespeichert ist.
24. Steuergerät, dadurch gekennzeichnet, dass es zur

Durchführung eines der vorhergehenden.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

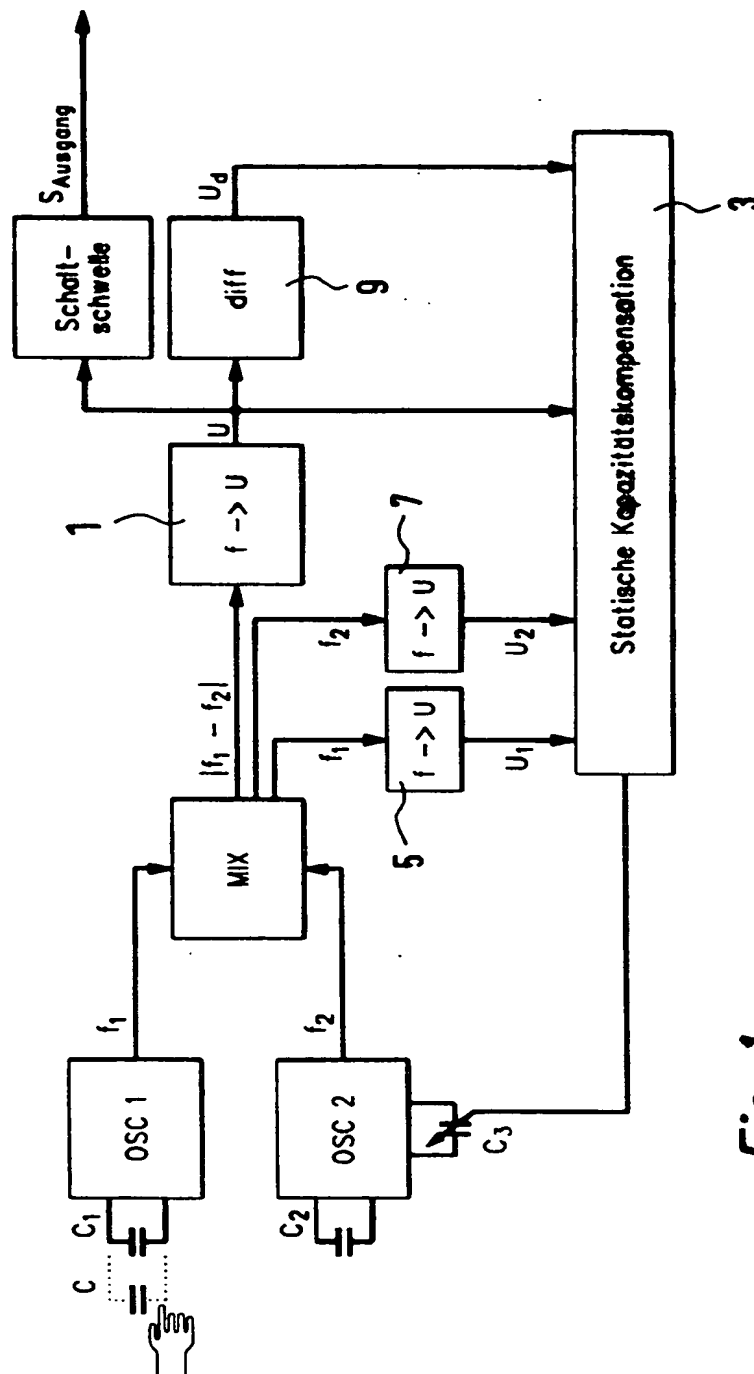


Fig. 1

BEST AVAILABLE COPY

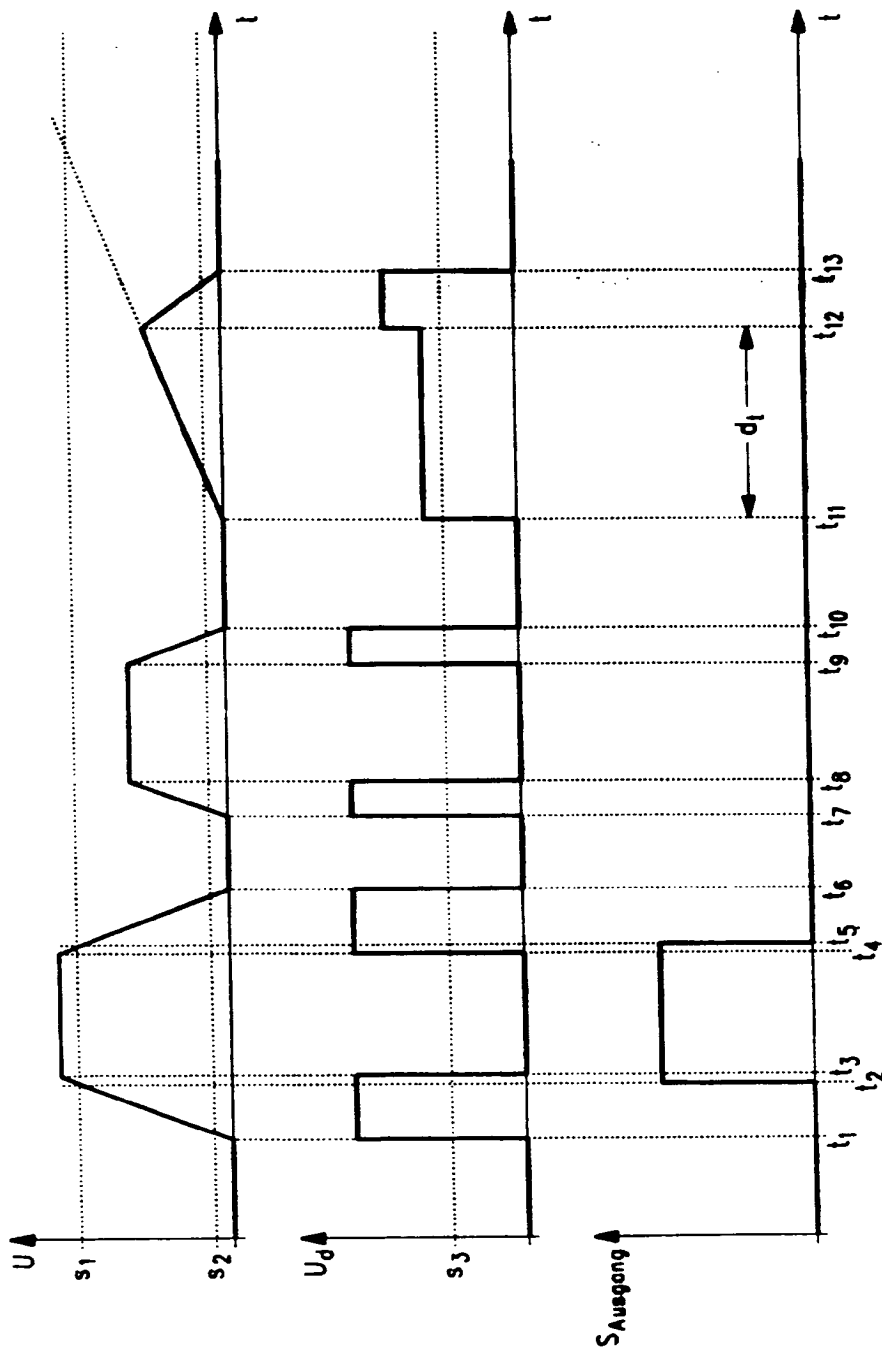


Fig. 2